INTORNO AL MAXIMUM DI DENSITÀ DELL'ACQUA DISTILLATA, ...

Francesco Rossetti

24.1
.C

Al Chiarissimo Signore
Cav. Canestrini
Bibliotecario ecc.

Ricordo
di F. Tag

INTORNO AL MAXIMUM DI DENSITA

DELL' ACQUA DISTILLATA,

DELL' ACQUA DELL' ADRIATICO E DI ALCUNE SOLUZIONI SALINE

ED INTORNO

ALLA DILATAZIONE DI QUESTI LIQUIDI

RICERCHE

DEL DOTT. FRANCESCO ROSSETTI

PROFESSORE DI FISICA NELLA R. UNIVERSITÀ DI PADOVA, SOCIO ORDINARIO DELL' ATENEO VENETO, E CORRISPONDENTE DI VARIE ACCADEMIE

(Estr. dal Vol. XII, Serie III degli Atti dell' Istituto veneto di scienze, lettere ed arti.)

VENEZIA

PRIV. STAB. DI GIUSEPPE ANTONELLI

M DCCC LXVI

INTRODUZIONE

Che l'acqua del mare abbia un *maximum* di densità è questione risolta da lungo tempo. Già Rumford e Berzelius avevano espressa l'opinione, che l'acqua salata debba avere, al pari della distillata, la proprietà di presentare un massimo di densità.

È ben vero che Gay-Lussac e Scoresby aveano emessa un'opinione opposta, e che Marcet avea riferite alla Società Reale di Londra (1819) delle esperienze tendenti a comprovare che l'acqua marina continua a restringersi fino al suo congelamento, e che più tardi (1827) Ermann avea letto dinanzi all'Accademia di Berlino un lavoro da lui intrapreso per eccitamento di Humboldt, dal quale risultava che non esiste massimo di densità per l'acqua di mare a partire dalla temperatura di + 8° fino a — 3°.

Ma Despretz con accuratissime esperienze giunse a provare che l'acqua dell'Atlantico raggiunge il *maximum*

di densità alla temperatura di — 3°,67 mentre il suo congelamento ha luogo alla temperatura di — 1°,84. Egli estese le sue ricerche anche a molte soluzioni saline e giunse alle seguenti conclusioni:

1) L'acqua di mare e tutte le dissoluzioni acquose hanno un *maximum* di densità.

2) Il *maximum* di densità si abbassa più rapidamente del punto di congelamento.

3) L'abbassamento del punto di gelo al di sotto dello zero, e l'abbassamento del *maximum* al di sotto di 4° sono *sensibilmente* proporzionali alla quantità di materia straniera aggiunta all'acqua.

Quest'ultima legge venne dal Despretz piuttosto intravvista che dimostrata rigorosamente, come apparisce dai risultati delle sue esperienze, laonde poteva sembrare opportuna una verificazione della medesima.

Così opinava l'illustre M. Regnault che mi eccitò a fare questi studi due anni or sono, quando io ebbi la fortuna di soggiornare alcuni mesi nel suo laboratorio.

Non faccio che soddisfare ad un debito di riconoscenza ringraziandolo ora pubblicamente dei suoi consigli ed insegnamenti. — Debbo ricordare altresì con grato animo l'assistenza prestatami nelle prime esperienze del mio amico E. Feltz, in allora preparatore particolare di M. Regnault.

La determinazione del *maximum* di densità per l'acqua del mare Adriatico e per le soluzioni saline, nell'intento di verificare le leggi trovate da Despretz forma appunto l'oggetto di questi miei studi, nel corso dei quali fui condotto naturalmente alla ricerca del massimo di densità per l'acqua distillata, ed a stabilire la curva di dilatazione di questo liquido.

Questo lavoro può essere diviso in due Memorie, nella prima espongo il metodo da me seguito in tali ricerche, le esperienze fatte per determinare il coefficiente di dilatazione cubica degli aromenti, e quelle che servono a calcolare la dilatazione dell' acqua distillata; nella seconda mi farò poi ad indicare i risultati delle esperienze circa la dilatazione delle soluzioni saline.

MEMORIA PRIMA

DISCUSSIONE DEI RISULTATI OTTENUTI DA ALTRI SPERIMENTATORI.

Pochi argomenti sono stati studiati con tanta cura come quello della dilatazione dell'acqua, e del suo *maximum* di densità. Dopochè gli accademici di Firenze abbero dimostrato pei primi (1670) che l'acqua approssimandosi alla temperatura di zero gradi si dilata in luogo di restringersi, moltissime esperienze vennero intraprese da abilissimi sperimentatori, e ciò nullostante si scorge un notevole divario nella temperatura da loro assegnata al *maximum*, come apparisce dalla seguente tabella:

Osservatori	Calcolatori	Temperatura del *Maximum*	
Deluc	Biot	3,42C	
	Ekstrand.	3,60	
	Paucker	4,76	
	Hällstrom	4,76	
Dalton	Dalton	2,22	
	Biot	4,35	
Gilpin	Young	3,89	
	Biot	3,89	
	Eytelwein	2,59	
	Walbeck	0,44	
	Hällstrom	3,82	
Schmidt	Eytelwein	2,94	
	Hällstrom	8,63	
Charles	Biot	3,99	
	Paucker	3,68	
Lefevre Gineau.	Lefevre Gineau	4,44	
Hällstrom	Hällstrom	4,35	Prime esper
Bischof	Bischof	4,06	

Cont. della Tabella

Osservatori	Calcolatori	Temperatura del *Maximum*	
Rumford. . .	Rumford. . .	4°,38	
	. . . . .	3,47	
Trollés . . .	Trollés . . .	4,35	
Hope . . .	Hope . . .	3,33	
	. . . . .	3,88	
	. . . . .	4,46	
Ekstrand	Ekstrand . .	3,60	
	. . . . .	3,90	
Hällstrom . .	Hällstrom . .	4,10±0°,24	Esper. post 1823
Stampfer. . .	Stampfer . .	3,75	
Muncke . . .	Muncke . . .	3,64	Formola d'interp
Despretz . .	Despretz . .	4,007	I Metodo
»	»	3,997	II »
Frankenheim	Frankenheim .	3,86	Formola d'interp
Hermann Kopp.	Hermann Kopp.	4,08	
Isidore Pierre .	Isidore Pierre .	3,92	id
J. P. Joule e Playfair . .	. . . .	3,945	Metodo di Hope, Trollés, Rumford, Ekstrand-Despretz
Plucker e Geissler. . . .	Plucker (1)	3,80	

Questi risultati ed i metodi di osservazione furono successivamente discussi da Hällstrom, da Despretz, da H. Kopp, da I. Pierre. I numeri 4°,10 4°,00 4°,08 3°,92 ottenuti da questi quattro altissimi sperimentatori sono tanto

(1) Potei avere la Memoria di Plucker solamente quando il presente lavoro era in corso di stampa. Plucker ammette che nulladimeno i propri risultamenti si possa riguardare T=4°,00 come temperatura del *Maximum*

vicini fra di loro che si possono riguardare come l'espressione esatta del grado di temperatura a cui ha luogo il massimo di densità.

Ma non esiste più lo stesso accordo riguardo al valore numerico della densità che possiede l'acqua a differenti temperature. Così, per esempio, prendendo per unità il volume e la densità dell'acqua alla temperatura del *maximum*, ebbero i seguenti risultati:

	Vol. a 0°	Dens. a 0°
Hällstrom	1,0001082	0,999892
Despretz	1,0001369	0,999862
Kopp	1,0001232	0,999877
Pierre	1,0001192	0,99988098927

La differenza invero è piccola e trascurabile nella maggior parte dei casi, non cominciando essa a manifestarsi che alla quinta cifra decimale. Ma però in alcuni casi può riuscire utile di avere quei numeri con precisione almeno fino alla sesta cifra, e ad ogni modo questo fu l'intento di quegli sperimentatori, poichè espressero il volume e la densità dell'acqua a differenti temperature con sette cifre decimali. Anzi il Pierre spinse tant'oltre lo scrupolo nei suoi calcoli che rappresentò la densità con 11 cifre decimali; esagerazione che fu giustamente censurata da H. Kopp, il quale osservò che non è possibile di spingere in questo genere di ricerche il grado di precisione al di là della sesta o tutto al più della settima cifra decimale, come lo provano le stesse esperienze di I. Pierre.

Il Despretz, il Pierre ed il Kupp seguirono nelle loro ricerche lo stesso metodo, eppure ottennero risultati che cominciano a differire sulla quinta rifra decimale.

Io sarei portato a ritenere più esatti i numeri dati dal Despretz, che non quelli degli altri due sperimentatori.

Il Despretz infatti avendo in mira di studiare la dilatazione dell'acqua in prossimità alla temperatura di 4° ha determinato il coefficiente di dilatazione cubica dei suoi strumenti tra 0° e 28° oltre quello tra 0° e 100°.

I. Pierre si accontentò invece del coefficiente di dilatazione tra 0° e 100°, ed il Kupp determinò sperimentalmente la dilatazione cubica dei suoi dilatometri tra 18° e 100°, e dedusse poscia col calcolo il coefficiente medio di dilatazione cubica tra 9° e 100°. Ma come le esperienze di Regnault e d'altri hanno fatto conoscere, e come apparirà evidentemente anche dal presente lavoro, il coefficiente medio di dilatazione cubica del vetro aumenta sensibilmente coll'aumentare della temperatura, in modo che, volendo procedere con esattezza, conviene tener conto di questa circostanza, come infatti fece il Despretz; mentre gli altri due sperimentatori che l'hanno trascurata, ebbero dei risultati abbastanza prossimi fra di loro, ma notevolmente diversi da quelli ottenuti dal Despretz.

Io determinai il coefficiente di dilatazione del vetro, onde'erano formati gli strumenti, tra 0° e 25°, poi tra 0° e 50°, indi tra 0° e 65°, e finalmente tra 0° e 100°. E quando mi servii degli strumenti per studiare la dilatazione dell'acqua in prossimità al *maximum* feci uso, come ben s'intende, del coefficiente medio tra 0° e 25°, con che ebbi risultamenti assai prossimi a quelli del Despretz.

Come accennai poco fa non era punto mia intenzione di occuparmi della dilatazione dell'acqua distillata, essen-

do più che sufficiente per casi pratici le tavole del Despretz che danno il volume e la densità dell'acqua di grado in grado da — 9 fino a + 17, ed il volume da + 4° fino a 100°, oppure le 4 formole empiriche di H. Kopp che servono a calcolare il valore dell'acqua da 0° a 25°, da 25° a 50°, da 50° a 75°, e da 75° a 100° gradi.

Ho voluto però cominciare con questa ricerca per sottomettere direi quasi ad una prova il metodo che intendeva di usare nelle ulteriori esperienze, ed il risultato fu così soddisfacente che parmi non inutile il pubblicarlo.

PARTE PRIMA

DESCRIZIONE DELLO STRUMENTO, MODO DI SPERIMENTARE E DI CALCOLARE LE ESPERIENZE.

Lo strumento di cui mi valsi in queste ricerche, è semplicissimo, come è semplice del pari la teoria del medesimo.

Venne descritto ed usato per la prima volta da M. Regnault (*Annales de Chimie et de Physique*, 3.ª Série, T. IX, 1843) e servendo esso alla ricerca della densità o del volume dei liquidi a differenti temperature potrebbe dirsi densimetro o volumenometro se questi nomi non fossero speciali ad altri stromenti. Il Kopp lo chiama *dilatometro*, perchè serve allo studio della dilatazione dei liquidi (forse si potrebbe dirlo con maggior proprietà platismometro).

Esso ha la forma d'un grosso termometro il cui tubo diviso BC (fig. 1) comunica da un lato col bulbo cilindrico B A, e dall'altro con un imbuto pure cilindrico D C smerigliato internamente verso il lembo, al quale si adatta un cappello E, pure smerigliato sul lembo esterno e che fa l'ufficio di turacciolo.

Negli strumenti da me adoperati il tubo A B era lungo circa 18 centimetri, largo 25 millimetri, e la sua capacità di circa 60 centimetri cubici.

Il tubo sottile B C era lungo 12 centimetri; ed il suo diametro interno di circa 1 millimetro: esso era stato scelto perfettamente calibro, e diviso con molta diligenza in 100 parti uguali collo zero nella parte inferiore. L'imbuto D C era largo 12 millimetri, alto 40.

Determinato che si abbia con esperienze preliminari la capacità dello strumento alla temperatura di zero gradi, il suo peso, il peso dell'aria che occupa quella capacità, ed il coefficiente di dilatazione del vetro con cui è formato, non che la capacità di una delle divisioni del tubo, riesce facile di studiare col suo mezzo la dilatazione e quindi la densità dei liquidi a differenti temperature.

Si riempie lo strumento del liquido e poi lo si circonda di ghiaccio fondentesi, se si vuol determinarne la densità alla temperatura di zero gradi, ovvero lo si colloca in un bagno, nel quale siano contemporaneamente immersi dei termometri, ove si ricerchi la densità ad altre temperature. Importa che la temperatura si mantenga costante almeno per mezz'ora. Quando è passato un tempo bastevole a far sì che tutto il liquido contenuto nello strumento abbia raggiunta la temperatura del bagno, si leva quella porzione del liquido che sta nell'imbuto e nella parte superiore del tubo diviso, lorchè ottiensi facilmente introducendovi un sottilissimo cono di carta bibula attorcigliata, che assorbe in virtù della sua capillarità il liquido fino al luogo ove perviene la punta del cono, e serve in pari tempo ad asciugare le pareti del tubo. Poniamo d'aver levato tanto liquido che il suo livello arrivi per esempio fino alla divisione n^{esima}, se pei altri dieci minuti quel livello rimanga stazio-

narno, ed egualmente restino stazionarie le indicazioni dei termometri immersi nello stesso bagno, si può ritenere che il liquido contenuto nello strumento abbia una temperatura uniforme ed uguale a quella indicata dai termometri. — Prima di levare lo strumento dal bagno si asciuga ben bene con carta bibula la parete interna dell'imbuto, che poscia si chiude senza apponendovi il cappello.

Indi si porta lo strumento nella stanza ove è collocata la bilancia, e prima di fare la pesata si attende che lo strumento ed il liquido contenuto abbiano acquistata la temperatura della stanza. Perchè ciò avvenga più prestamente, si tiene sempre pronta in un vaso dell'acqua avente una temperatura alquanto superiore, od inferiore secondo il caso, a quella della stanza, e vi si lascia immerso lo strumento un quarto d'ora o mezz'ora all'incirca, poscia lo si asciuga ripetutamente, e lo si pone infine sulla bilancia. Queste precauzioni sono necessarie perchè la precisione dei risultati è specialmente riposta nella esattezza delle pesate; e se lo strumento avesse una temperatura più bassa di quella della bilancia, le sue pareti si ricoprirebbero d'un velo di vapor acqueo che renderebbe inesatta la pesata. — Giova notare fin d'ora che sull'altro piatto della bilancia trovasi costantemente collocato uno strumento di volume uguale a quello che serve per le esperienze, e ripieno esso stesso di liquido (ma chiuso superiormente), e ciò allo scopo di risparmiare la correzione che si dovrebbe fare in ogni pesata per causa dell'aria spostata dallo strumento.

Dal peso ottenuto si sottrae il peso dello strumento vuoto di liquido e privo di aria, e la differenza rappresenterà il peso del liquido che occupa la capacità dello strumento fino alla divisione n^{esima}, alla temperatura indicata dai termometri.

Sia P_t il peso del liquido
W_t il volume che esso occupa
t la temperatura,

si avrà la densità dividendo il peso pel volume, cioè

$$d_t = \frac{P_t}{W_t}$$

Chiamiamo

R_0 la capacità che alla temperatura di zero gradi ha lo strumento fino alla divisione zero
k il coefficiente di dilatazione media tra 0° e t gradi.
Alla temp. di t gradi quella capacità sarà

$$R_t = R_0 (1+kt) .$$

Rappresenti inoltre

π il peso del mercurio che riempie una divisione del tubo
D la densità del mercurio, sarà
$\frac{\pi}{D}$ il volume ossia la capacità d' una divisione
$n \frac{\pi}{D}$ il volume di n divisioni

Per conseguenza se il liquido arriva nello strumento fino alla divisione n^{esima}, il suo volume sarà

$$W_t = R_t + n\frac{\pi}{D} = R_0(1+kt) + n\frac{\pi}{D}$$

e quindi

$$(1) \qquad d_t = \frac{P_t}{R_0(1+kt) + n\frac{\pi}{D}}$$

la qual formola serve a calcolare la densità.

Quando si voglia far uso di questo stromento per studiare la legge di dilatazione d' un liquido entro limiti ri-

stretti di temperatura, come, per esempio, nella ricerca del *maximum* di densità, ove importa di conoscere un numero grande di valori della densità a temperature vicinissime fra di loro ed in prossimità alla temperatura del *maximum*, allora basta una sola pesata, per cui nella formula (1) P_t rimane costante, e varia solamente n. Infatti allora lo strumento si comporta come un termometro; se il liquido si dilata si innalza il suo livello nel tubo diviso, e viceversa si abbassa quando il liquido si restringe.

Ma se vogliansi determinare le densità del liquido a temperature discoste notevolmente le une dalle altre, lo strumento diventa un vero termometro a peso: nella formula (1) P_t varia ad ogni nuova osservazione ed invece si procura di mantenere n costante; si fa in modo, cioè, che il livello del liquido arrivi ogni volta all'incirca alla divisione 100 ^{mm}, tenendo però esatto conto anche delle minime differenze.

La formola (1) che serve a calcolare la densità esige una precisa conoscenza delle quantità k e R_0, cioè del coeff. di dilatazione cubica dello stromento, e della sua capacità.

Prima di esporre le esperienze che servirono a queste determinazioni credo utile di dare qualche indicazione intorno alle bilance, ed ai termometri usati, affinchè si possa avere la debita fiducia nei risultati delle mie esperienze. Poichè trattandosi di esperienze che richieggono un sommo grado di precisione, conviene anzitutto far uso di strumenti che comportino quel grado di esattezza che vuolsi raggiungere, e che tali fossero quelli di cui mi son valso risulterà evidentemente dalla seguente descrizione.

BILANCIE.

Bilancia del Collège de France

Approfittai del mio soggiorno nel Laboratorio di M. Regnault al Collegio di Francia per fare le esperienze atte a determinare il volume ed il coefficiente di dilatazione degli strumenti. In questa ricerca conviene pesare ripetutamente gli strumenti pieni di mercurio, e siccome il peso eccede il chilogrammo, mi sarebbe stato difficile di trovare altrove una bilancia che si prestasse opportunamente a sì delicata ricerca.

Quella del Collège de France è lavoro squisito del distinto artista M. Deleuil, ed è quella stessa che ha servito a M. Regnault nelle sue celebri ricerche.

Essa può portare fino a 5 chilogrammi su ogni piatto della bilancia, ed è sensibile al milligrammo.

Bilancia del Laboratorio di Chimica della Scuola Reale Superiore di Venezia.

Le altre esperienze vennero eseguite a Venezia durante l'estate dell'anno decorso, e nel gennajo di questo anno.

Il Gabinetto del Ginnasio di S. Catterina, ove io mi trovava, non possedendo una bilancia abbastanza grande e sensibile, ho dovuto valermi di quella del Laboratorio Chimico della Scuola Reale, nel quale ho continuate le esperienze, approfittando della cortesia del chiarissimo prof. Giov. Bizio, che gentilmente mise a mia disposizione la bilancia e quanto avesse potuto occorrermi del suo Laboratorio. Colgo questa occasione per attestargli la mia

riconoscenza. — La bilancia è costruita dal sig. Rüprechi di Vienna con tal perfezione di lavoro che può portare 4 chilogrammo su ciascheduno piatto, ed è sensibile al mezzo milligrammo assai facilmente, e con un po' d'attenzione che si usi dà anche il decimo di milligrammo.

Quando si trattò di preparare le dissoluzioni saline all' 1 per %, al 2 per % ec. mi valsi d'una bilancia più piccola che dà con sicurezza il decimo di milligrammo.

Termometri.

I termometri sono stati costruiti da M. Pastrè e portano i numeri N. 268, N. 269, N. 270 ed il N. 167. Quest'ultimo appartiene a M. Regnault. Sono tutti quattro a scala arbitraria ed a serbatojo cilindrico. I loro tubi sono stati scelti tra i più regolari e divisi in parti di uguale capacità con molta accuratezza.

Il N. 268 è un termometro campione, la cui scala comprende 920 divisioni ed abbraccia circa 110 gradi della scala centigrada.

Lo zero si trova alla divisione 71°,3 ed il logaritmo d'un grado = 0,9158994, cioè un grado corrisponde a 8,° 2395 divisioni.

Queste indicazioni valgono per le esperienze fatte a Parigi, ma essendosi nel trasporto a Venezia rotta l'estremità superiore del tubo, dovetti introdurvi del nuovo mercurio, e fare tutte le operazioni necessarie perchè potesse divenire nuovamente un buon termometro. Determinati poscia i due punti fissi di temperatura, cioè del ghiaccio che si fonde, e dell'acqua bollente, ne risultò che lo zero si trova a 81°,0, e che il logaritmo d'un grado = 0,9159754, cioè che un grado corrisponde a 8,° 2409

La posizione dello zero variò poi come avviene di quasi tutti i termometri, si trovò a 81°, 5, a 82, 0, a 82, 4, e rimesso sei mesi dopo nell'apparato d'ebullizione, e poscia nel ghiaccio fondentesi, lo zero ridiscese a 80°, 0 per poi alzarsi alcuni giorni più tardi a 80, 4, a 81°, 0.

La massima escursione dello zero corrisponde a 2°, 5, cioè a quasi un terzo di grado.

Credo appena necessario di ricordare che ogni volta che si fecero esperienze, lo zero dei termometri veniva determinato in principio ed alla fine dell'esperienza. — Il N. 269 è ugualmente un termometro campione; il tubo diviso porta 880 divisioni, ed abbraccia circa 140°. — Lo zero si trovò alla divisione 64,0 ed il logaritmo d'un grado = 0, 9023840, ossia un grado corrisponde a divisioni 7,9870.

Lo zero si alzò successivamente a 64°,5, a 65,0 66,0 e giunse perfino a 67°,0: quindi la massima sua escursione corrispose a 0°,31.

Ogni volta che si colloca il termometro nell'apparato d'ebullizione, lo zero ridiscende fino alla divisione 64°,0.

Il termometro N. 270 ha un grosso bulbo cilindrico, il tubo è diviso in 860 parti, ed abbraccia 45 gradi, dei quali 25 sopra e 20 sotto lo zero.

Si trovò che alle temperature di zero gradi il mercurio arriva alla divisione 373°,0 che variò successivamente segnando 373°,8, 374,0; 374°,8, 375°,0 376,4 fino a 377,5; per cui la massima escursione corrisponde a 4°,5 cioè a circa 0°,23.

Il logaritmo d'un grado = 1, 2773283, cioè un grado corrisponde a 18°,938 divisioni.

Il termometro N. 167 ha lo zero a 135°,8 ed il logaritmo d'un grado = 0, 6976212 cioè un grado corrisponde a 4°, 9845.

Modo di far la lettura e le correzioni alle letture termometriche.

La lettura si fa col mezzo di un cannocchiale, o col sussidio di un tubo lungo circa 8 centimetri contenente una lente che fa l'ufficio di microscopio. In questa guisa si evita l'errore di paralassi e si possono stimare i decimi di divisione coll'errore probabile di $^1/_{10}$. Quindi col termometro N. 208 è possibile di tener conto dei centesimi di grado e l'errore che si può commettere non supera 0°,013; egualmente col termometro N. 269 si possono stimare i centesimi di grado, coll'errore massimo di 0°,013; e col termometro N. 270 si possono avere i centesimi di grado coll'errore possibile di 0°,005.

Nelle esperienze a temperature basse rimaneva immersa nel bagno quasi tutta la colonna termometrica, per cui non abbisognano correzioni alle letture fatte sulla scala del termometro. Ma nelle osservazioni a temperature alquanto elevate, una parte della colonna termometrica emergeva dal bagno, ed in questo caso conveniva tener conto anche della temperatura dell'ambiente, per poter poscia fare la debita correzione, riducendo la fatta lettura a quella che sarebbe stata se tutto il termometro avesse pescato nel bagno.

MODO DI MANTENERE COSTANTE LA TEMPERATURA DEL BAGNO.

Bagno per le temperature superiori a quelle dell'ambiente.

Un cilindro d'ottone largo 25 centimetri, alto 45, con pareti e fondo riunite a saldatura forte, è pieno d'acqua,

entro la quale devono essere immersi i termometri e gli strumenti contenenti i liquidi, dei quali si vuol determinare la densità. Un agitatore tenuto in continuo movimento dal basso verso l'alto e viceversa, rende uniforme la temperatura del bagno.

La fig. 2 mostra la disposizione dell'apparato,

b è lo strumento

t e T i termometri

a l'agitatore.

Ad ottenere poi una data temperatura, ed a mantenerla costante per un tempo abbastanza lungo, serve una fiamma a gas a doppia corrente d'aria, e di cui può esser moderata la grandezza e quindi la forza riscaldante mediante una vite micrometrica che dà accesso a una quantità più o men grande di gas secondo il bisogno. — In principio si lascia che la fiamma riscaldi liberamente il fondo del vaso, e si continua a muovere l'agitatore. Quando i termometri indicano all'incirca il grado di temperatura al quale si vuol fare l'esperienza, si modera la fiamma mediante la vite e si riesce ben presto ad ottenere che tanto sia il calore comunicato dalla fiamma al vaso del bagno, quanto è quello che le sue pareti perdono per irraggiamento e per contatto coll'aria.

I termometri allora divengono stazionarii e devono conservarsi tali finchè si è fatta l'esperienza voluta a quella temperatura.

Indi si aumenta la grandezza della fiamma finchè siasi raggiunta quella temperatura più elevata alla quale si desidera di fare una seconda determinazione. E così si continua procedendo colle cautele suindicate.

Bagno per le temperature inferiori a quelle dell'ambiente e miscele frigorifere

Quando si vogliono ottenere temperature basse, ma però superiori a zero gradi, basta aggiungere all'acqua del bagno della neve o del ghiaccio frantoi in quantità più o men grande a norma dell'abbassamento che si desidera di conseguire. L'agitatore rende uniforme la temperatura del bagno, che va successivamente abbassandosi finchè arriva il momento in cui comincerebbe a prevalere l'influenza dell'ambiente più caldo, e la temperatura del bagno si rialzerebbe nuovamente. Ma allora non è difficile di mantenerla costante coll'aggiungere successivamente pochi pezzetti di ghiaccio, i quali, fondendosi, raffreddano appunto il bagno di quanto si sarebbe riscaldato per l'influenza delle cause esterne.

Che se poi si vogliano avere temperature più basse dello zero conviene ricorrere alle mescolanze frigorifere. Nelle mie sperienze feci uso qualche volta di ghiaccio pesto e sal comune, più di frequente di ghiaccio pesto e cloruro di calcio cristallizzato. — Si mescolano queste due sostanze in proporzioni più o men grandi secondo il grado di temperatura che si vuole ottenere. È meglio di produrre a bella prima il massimo abbassamento per poi procedere nelle esperienze dalle temperature più basse verso le più elevate; altrimenti se si volesse tenere il cammino inverso ed abbassare successivamente la temperatura si dovrebbe consumare una quantità di sale molto maggiore. — Mediante la miscela di ghiaccio e cloruro di calcio si ottiene nella stagione invernale la temperatura di —32°C. ed anche

più lo feci molte esperienze nella stagione estiva ed ebbi con facilità — 20°C.

Questa miscela vuol essere agitata continuamente e rapidamente, se si lasciasse tranquilla un istante, si formerebbero prontamente dei grossi pezzi di ghiaccio, i quali poi mossi dall'agitatore verrebbero a urtare contro gli strumenti.

Fatta una prima osservazione alla temperatura più bassa, per portare il miscuglio ad una temperatura più alta, se ne leva una parte per sostituirne una, all'incirca uguale in quantità, d'una dissoluzione calda e concentrata di cloruro di calcio. La temperatura si innalza dapprima, raggiunge un massimo e poi si abbassa lentamente per causa della fusione d'una parte del ghiaccio: ma ben presto l'abbassamento si arresta e la temperatura rimane costante per alcuni minuti (1).

Allo scopo di sottrarre quanto più fosse possibile il bagno dall'influenza delle cause esterne, collocai il vaso che conteneva la miscela entro una secchia di legno di larghezza doppia di quella del vaso, e riempii lo spazio anulare tra il vaso e la secchia di segature di legno ben asciutte (Vedi la fig. 3). In tal guisa mi riuscì di conservare la temperatura del bagno costante almeno per un quarto d'ora ad ogni nuova osservazione. — Usai questa precauzione anche per le osservazioni di temperatura superiori allo zero ma inferiori a quella dell'ambiente.

Fatto così un breve cenno degli strumenti, rimane ora di indicare le esperienze che hanno servito a calcolare i coefficienti di dilatazione del vetro, e prima ancora quelle

(1) Vedi M. Regnault — *Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut Imp. de France*, Vol. XXVI, pag. 542

destinate alla determinazione del peso degli strumenti, del loro volume, della capacità di una divisione.

Determinazione del peso degli strumenti pieni d'aria secca.

Prima di pesarlo ogni strumento si metteva in comunicazione con un braccio di un tubo ad U contenente cloruro di calcio, o meglio dei frantumi di pumice imbevuti d'acido solforico. Questo tubo comunicava per l'altro braccio con una macchina pneumatica, col mezzo della quale si estraeva l'aria dallo strumento, e se ne lasciava entrare poscia della nuova, che attraversando il tubo ad U diveniva perfettamente secca, e per meglio riuscire si ripeteva l'operazione venti o trenta volte. — Poi si pesava lo strumento tenendo conto della temperatura e della pressione barometrica.

Determinazione del volume degli strumenti.

Il volume degli strumenti venne determinato prima col mezzo del mercurio e poscia anche coll'acqua distillata.

Preferii in principio il metodo del mercurio, perchè quella stessa esperienza che serviva alla determinazione della capacità degli strumenti, poteva essere utilizzata nella ricerca del loro coefficiente di dilatazione.

Ma più tardi, quando volli determinare la densità dell'acqua distillata, dovetti prescindere dalla determinazione fatta col mercurio, poichè la densità di questo metallo alla temperatura di zero gradi è stata desunta da quella dell'acqua distillata coi dati numerici di J. Pierre (1), il quale ottenne $\frac{1}{0,999881}$ per valore del massimo di densità, al-

(1) *Mémoires de l'Académie des sciences*, Vol. XXI. pag. 154

quanto inferiore a quello ottenuto da Despretz e a quello che risultò dalla mie esperienze.

Questa piccola differenza non produce alcun effetto sensibile sulla determinazione del coefficiente di dilatazione.

Gli strumenti coi quali sperimentai furono sette, portanti il N. 15, N. 1, N. 2, N. 3, N. 4, N. 5, N. 6.

Il N. 15 appartiene a M. Regnault, avea già servito a lui per altre esperienze, e lo introdussi assieme ai miei nelle ricerche del coefficiente di dilatazione cubica del vetro per avere in esso quasi un controllo ai miei risultati. M. Regnault avea trovato che il coefficiente medio di dilatazione cubica tra 0° a 100° del N. 15 è K = 0,00002758.

S' incominciò dunque col riempire di mercurio tutti sette gli strumenti. L' operazione più difficile ed alquanto pericolosa è quella di far bollire il mercurio per discacciarne l'aria e l'umidità, essendo che ogni strumento contiene circa un chilogrammo di mercurio. — In una di queste operazioni andò rotto lo strumento N. 5, sicchè non ne rimasero che sei, dei quali si procedette a determinare il volume. — A tale effetto ognuno di essi venne circondato da ghiaccio pesto e lasciato in quel bagno per altre due ore. Il mercurio che riempie lo strumento e parte dell' imbuto va successivamente restringendosi finchè esso ha assunto la temperatura di zero gradi. Si leva quella parte di mercurio che ancor rimanesse nell' imbuto ed anche quella che occupa la estremità superiore del tubo diviso, facendo in guisa che il livello del mercurio sta verso la divisione 100.

Ciò si ottiene facilmente con una pipetta formata da una bolla di vetro avente due code, che si possono rendere sottili e lunghe quanto si voglia.

Si riscalda la bolla in modo da farne uscire molta aria, poi si chiude una delle code e si introduce l'altra nel tubo diviso fino alla profondità alla quale si vuole che il livello del mercurio si arresti. L'aria della bolla si restringe raffreddandosi, e quindi il mercurio monta nel cannello e si abbassa nel tubo diviso dello strumento. — Ridotto così il livello del mercurio alla divisione p. e. 100, si attende ancora mezz'ora e se continua a rimanere allo stesso punto, si può esser certi che tutta la massa del mercurio ha la temperatura di zero gradi. — Allora si pesa lo strumento colle avvertenze indicate superiormente, e dal peso trovato si sottrae il peso dello strumento vuoto, e così si ottiene il peso del mercurio che riempie, alla temperatura di zero gradi, lo strumento fino alla divisione 100. — Dividendo questo peso per la densità del mercurio si ottiene il volume dello strumento fino alla divisione 100 ed alla temperatura di zero gradi.

Ecco la determinazione rispetto allo strumento N. 15.

Strumento N. 15

Tara	grammi 1167,729
Peso aggiunto allo strumento pieno di mercurio per far equilibrio alla tara	$p_0 = 273^{gr},142$
Donde si ricava il peso dello strumento pieno di mercurio, a zero gradi, fino alla divisione 100	$= 894^{gr},587$
Pressione barometrica ridotta a 0° — $H_0 = 755,94$	
$t = 8°0C.$	
Peso dello strumento pieno d'aria alla pressione H ed alla temperatura t .	$q = 53^{gr},487$
Il peso del mercurio a 0° sarà	$P_0 = 841^{gr},100$
Volume dello strumento a 0° (Prima approssimazione) —	$\frac{P_0}{D_1}$ 01.864 centim. cubici.

Non si era tenuto conto del peso dell'aria che viene discacciata di posto dal mercurio, ora che conosciamo approssimativamente il volume V_0 potremo calcolare il peso dell'aria mediante la formula Peso dell'aria che occupa $V_0 = V_0 \frac{1+Kt}{1+\alpha t} \cdot \frac{H_1}{760} 1^{gr},293187$

nella quale $\alpha =$ coeff. di dilataz. dell'aria secca $= 0,00367$

$K =$ coeff. di dilataz. del vetro che approssimativamente possiamo ritenere $= 0,000027$

$V_0 = 61^{c.c},864 = 0^{litri},061864$

Risulta

Peso dell'aria che riempie lo strum. a 0° $a = 0^{gr},077$

Peso dello strum. privo d'aria fino a 100°,0 $s = 53,410$

Peso del mercurio che lo riempie a 0° $\Pi_0 = 841^{gr},177$

Volume dello strumento uno a 100°,0 alla temperatura di 0° . $V_0 = 61^{c.c},86974$

Eguali operazioni si effettuarono sugli altri strumenti, ed i risultati ottenuti sono consegnati nella seguente tabella, nella quale

π rappresenta il peso del mercurio che occupa una divisione del tubo

$w = \frac{\pi}{D} =$ volume di una divisione del tubo

$q =$ peso dello strumento pieno d'aria secca alla pressione H_0 ed alla temperatura T

$p_0 =$ peso aggiunto allo strumento pieno di mercurio per far equilibrio alla tara

Peso della tara

$=1167^{gr},729$

a= peso dell' aria secca che riempie lo strumento fino a $10^{p},0$, a 0°

s= peso dello strumento privo d' aria fino a $100^{p},0$

Π_0= peso del mercurio che riempie lo strumento fino a $100^{p},0$ a 0°

V^0= volume dello strumento fino a $100^{p},0$ alla temperatura di 0°.

TABELLA I.

Strumento N.°	x grammi	w cent. cub.	q grammi	H_0	T	p_0	a	s	Π_0	V_0
				mm.	°	gr.	gr.	gr.	gr.	c c.
15	0,0160	0,00132	63,487	755,94	6,0	273,142	0,077	53,410	844,177	61,8627
1	0,0052	0,0003625	58,333	766,50	21,0	209,564	0,081	58,252	699,943	66,4699
2	0,00523	0,0003846	50,762	765,80	21,0	274,847	0,075	50,667	642,195	64,9446
3	0,0052	0,0003825	56,975	755,94	21,1	199,849	0,0857	56,691	944,019	67,0087
4	0,0061	0,0004488	64,276	755,94	21,1	139,346	0,089	64,187	963,194	70,8443
6	0,00529	0,0003895	67,855	755,94	21,1	197,634	0,084	57,249	942,646	67,4264

Il valore di π, cioè del peso di mercurio che occupa una divisione del tubo, si ottenne coll'introdurre tre o quattro volte delle colonnette di mercurio nel tubo; e poscia col pesar tutto il mercurio. Questo peso, diviso pel numero totale di divisioni occupate, rappresenta con molta precisione il valore del volume d'una divisione.

Così p. e. per il tubo diviso dello strumento N. 6 s'introdussero le seguenti colonnette di mercurio:

98^{D},1	102,0	98,7	82,3	101,0	101,0	$t=25°C$
24 ,8	18,1	50,0	4,0	16,1	11,0	
73 ,3	83,9	48,7	78,3	84,9	90,0	

Raccolto insieme il mercurio e pesatolo si ebbe

$$p=2^{gr},4108$$

$$73^{D},3+83,9+48,7+78,3+84,9+90,0=459^{D},1$$

$$459^{D},1 \quad \text{per} \quad t=25°, \text{ ridotto a zero gradi}$$

$$456_{D},9 \qquad t=0°$$

$$456^{D},9=2^{gr},4198$$

e quindi per una divisione $\pi=0,005294$

ed il valore $w=\frac{\pi}{a}=\frac{0,005294}{13,59593}=0,0003893$

Determinazione del coefficiente di dilatazione cubica degli strumenti.

Si fece uso in questa determinazione della ben nota formula che dà il coefficiente medio k di dilatazione cubica del vetro tra 0° e $t°$ in funzione della dilatazione apparente Δt del mercurio, e della dilatazione assoluta di questo liquido che chiameremo μt.

La dilatazione apparente Δt del mercurio tra 0° $t°$

si trova col determinare sperimentalmente i pesi Π_0 e Π_t del mercurio contenuto dallo strumento a quelle temperature. Sarà

$$(2) \qquad \Delta t = \frac{\Pi_0 - \Pi_t + mx}{\Pi_t} = \frac{i_1}{\Pi_1}$$

nella qual formula m rappresenta il numero di divisioni di differenza tra il livello del mercurio nella prima e nella seconda osservazione.

Nota la dilatazione apparente Δt riesce agevole la determinazione della dilatazione cubica del vetro kt, e quindi del coefficiente medio tra $0°$ e $t°$ mediante la formula

$$1 + kt = \frac{1 + \mu t}{1 + \Delta t} \qquad (3)$$

Il peso Π_0 del mercurio che riempie lo strumento fino alla divisione $100°,0$ ed alla temperatura di zero gradi venne determinato precedentemente, e i singoli valori numerici sono contenuti nella Tabella I.

Gli strumenti vengono collocati successivamente in un bagno, la cui temperatura è resa uniforme e stazionaria per un tempo abbastanza lungo a far sì che nel momento della lettura siano immobili i livelli del mercurio tanto nei termometri quanto negli strumenti.

Nel bagno pescano due termometri a differenti profondità.

Fatte le letture si pesano gli strumenti colle solite precauzioni per dedurne il valore Π_t del mercurio che contiene lo strumento alla temperatura t. È evidente che

$\Pi_t =$ tara — peso dello strumento vuoto
— peso aggiunto per far equilibrio alla tara

$\Pi_t =$ tara $- p_t - s$ e siccome

$\Pi_0 =$ tara $- p_0 - s$

$\Pi_0 - \Pi_t = p_t - p_0$

Esperienze per la determinazione del coefficiente k tra 0° e 25°.

Nello stesso bagno sono collocati gli strumenti N. 1, N. 4, N. 16, ed i termometri N. 167, N. 268

Termometro N. 167. . .283$_{p}$,2=25°,52 } Peso della tara
» N. 268. . 284 ,4=25°,50 } =1167^{gr},729

Strumento	livello del mercurio	peso aggiunto per far equilibrio alla tara
N. 1	82^{p},8	p_t= 213^{gr},183
N. 4	93 ,5	p_t= 148 ,181
N. 15	99 ,0	p_t= 276 ,438

Poscia si collocarono in quel bagno gli strumenti N. 3, N. 6.

Term. N. 187 257^{p},4=24°,30
N. 288 271 ,8=24 ,34
Strum. N. 3 88^{p},6 p_t=203^{gr},289
N. 6 98^{p},3 p_t=201 ,263

Coefficiente tra 0° e 50°.

Term. N. 167 400,7=53°,16
N. 268 509,0=53°,12
Strum. N. 4 livello del mercurio 80^{p},0 p_t=147^{gr},356
N. 1 » 80 ,5 p_t 217 ,014
N. 2 » 92 ,0 p_t 281 ,767
Term. N. 167 395,8=52°,12
N. 268 500,9=52°,14
Strum. N. 6 livello del mercurio =99^{p},1 p_t=205,152
N. 3 » =87 ,4 p_t=207,189
Term. N. 167 396,0=52°,16
N. 288 501,0=52°,15
Strum. N. 15 livello del mercurio =98^{p},2 p_t=279,864

Coefficiente tra 0° e 70°.

Term. N. 167	476,2=68°,25		
N. 268	634,0=68°,29		
Strum. N. 15 livello del mercurio	98,1	peso agg.	281,919
N. 2	» 78,5		p_t=283,784
N. 1	» 87,8		p_t=149,556
Term. N. 167	461°,6=65°,92		
N. 268	614,0=65°,87		
Strum. N. 4 livello del mercurio	=79,7		p_t=218,776
N. 3	» =59,0		p_t=209,258
Term. N. 167	452,0=63°,39		
N. 268	593,5=63°,38		
Strum. N. 6 livello del mercurio	=100°,2		p_t=206,721

Coefficiente tra 0° e 100

Si collocano gli strumenti uno dopo l'altro nell'apparecchio che serve a determinare il punto di ebullizione dell'acqua. L'strumento si trova immerso nel vapore che si svolge dall'acqua bollente, e si fa la lettura quando il livello del mercurio si conserva stazionario. Contemporaneamente si fanno le letture al barometro. Serve il barometro normale della sala di fisica del *Collège de France* . . Correzione da farsi alla lettura barometrica ... +0^{mm},49.

Il termometro del barometro ha lo zero a 81,0

log 1°=0,7141620

Si lascian poscia raffreddare gli strumenti e si fanno le consuete pesate.

Strum. N. 15 lettura =101°,0 p_t=285^{gr},844

H=759,86+0,49=760,35 } Press. ridotta a 0° } Temp. di ebullizione corrisp. ad H_0

t 78°,5=9°,17 H_0=759,10 T=99°,97

Strum. N. 2	t=102,9	p_t=287,873
H=758,88+0,48=759,37 t= 77,2=8°92	H_0=758,48	T=99°93
Strum. N. 6	t=102,5	p_t=214,738
H=758,8+0,49=759,09 t =80°,0=9°,48	H_0=757,80	T=93°,92
Strum. N. 4.	t=102,8	p_t=154°,035
H=758,72+0,49=759,21 t =80°,8=9°,56	H_0=757,91	T=99°,92
Strum. N. 1	t=78,0	p_t=223,411
H=758,82+0,49=759,31 t =79,5=9°37	H_0=758,03	T=99°,93
Strum. N. 3	t=104,0	p_t=213,701
H=758,46+0,49=758,95 t =79,5=9°,37	H_0=757,60	T=93°,91

Facendo uso di questi dati sperimentali e delle formole (2) e (3) si calcolarono i valori Δt (dilatazione apparente del mercurio), Δ (dilatazione apparente media tra 0° e t°), kt (dilatazione cubica del vetro), k (coefficiente medio di dilatazione cubica del vetro tra 0° e t°).

Tali valori sono contenuti nella Tabella II, nella quale il coefficiente medio di dilatazione assoluta del mercurio venne desunto dalla Tabella di M. Regnault (*Mémoires de l' Accadémie royale des sciences*. T. XXI, pag. 328).

TABELLA II.

TABEL

Strumento N°	t	l (lettura)	p_t grammi	m	λ_t grammi	Π_t grammi
	°	p	gr.	p	gr.	gr.
15	25,52	99,0	276,438	4,0	3,278	837,884
1	25,52	82,8	213,183	17,2	3,529	898,294
2	—	—	—	—	—	—
3	24,30	88,9	203,289	11,1	3,412	907,849
4	25,52	93,5	143,481	6,5	3,793	960,364
0	24,30	98,3	204,263	1,7	3,420	909,247
15	52,18	98,2	279,884	1,8	8,887	834,458
1	53,10	80,5	217,044	19,5	7,348	892,483
2	53,10	92,0	284 787	8,0	8,878	835,275
3	52,12	87,4	207,189	12,8	7,305	903,849
4	52,10	80,0	147,356	20,0	7,886	958,186
6	52,12	90,1	205,152	0,9	7,313	905,328
15	68,25	98,1	284,949	1,9	8,743	832,400
1	85,92	79,7	218,776	20,3	9,105	890,704
2	68,25	78,5	283,784	21,5	8,825	833,258
3	85,92	59,0	209,258	41,0	9,226	901,580
4	68,25	87,8	149,536	12,2	10,114	954,006
8	83,39	100,2	206,721	—0,2	8,888	903,759
15	99,07	101,0	285,844	—1,0	12,720	828,475
1	99 93	76,0	223,441	24,0	13,721	880,066
2	99,93	102,9	287,873	—2,9	12,841	829,389
3	99,91	101,0	213,704	—1,0	13,887	897,137
4	99,92	102,8	154,038	—2,8	14,703	949,507
6	99,92	102,5	244,788	—2,5	13,947	898,742

L A II

Δt	Δ (medio)	μ	kt	k (medio) tra 0° e t°
0,00391225	0,00015330	0,00017965	0,000669640	0,000026234
0,00303732	0,00015420	0,00017965	0,0006387	0,000025346
—	—	—	—	—
0,0037505	0,00015475	0,00017962	0,000602446	0,000024783
0,00304002	0,00015477	0,00017965	0,000632069	0,000024768
0,00376148	0,00015482	0,00017962	0,000600102	0,000024703
0,00801358	0,00015363	0,00018032	0,00438046	0,000026465
0,00823392	0,00015409	0,00018035	0,0043223	0,000025088
0,00823441	0,00015506	0,00018035	0,00433204	0,000025083
0,0080839	0,00015510	0,00018032	0,00430442	0,000025022
0,0082475	0,00015530	0,00018035	0,00434967	0,000024839
0,00807774	0,00015408	0,00018032	0,001340266	0,000025139
0,01050330	0,00015390	0,00018073	0,001813692	0,000026540
0,0102223	0,00015506	0,00018065	0,00167481	0,000025359
0,01039005	0,00015548	0,00018073	0,00172046	0,000025295
0,01023205	0,00015523	0,00018065	0,001661276	0,000025200
0,01000100	0,00015533	0,00018073	0,00171032	0,000025147
0,00983448	0,00015497	0,00018061	0,00160074	0,000025234
0,01535351	0,00015363	0,00018153	0,00275188	0,000027527
0,0154853	0,00015496	0,00018153	0,002614530	0,000026164
0,01548285	0,00015494	0,00018153	0,002617046	0,000026189
0,01547024	0,00015494	0,00018153	0,002616023	0,000026103
0,01548187	0,00015497	0,00018153	0,002613323	0,000020155
0,01548490	0,00015497	0,00018153	0,002613120	0,000026152

Dalla semplice ispezione di questa Tabella risulta

I. Che gli strumenti N. 1, N. 2, N. 3, N. 4, N. 6, fatti con vetro della stessa specie hanno all'incirca il medesimo coefficiente di dilatazione cubica, che in medio si potrebbe ritenere per questi strumenti

$$k = 0{,}000024758 \text{ tra } 0^\circ \text{ e } 25^\circ$$
$$k = 0{,}000025083 \text{ tra } 0^\circ \text{ e } 50^\circ$$
$$k = 0{,}000025272 \text{ tra } 0^\circ \text{ e } 65^\circ$$
$$k = 0{,}00002617 \text{ tra } 0^\circ \text{ e } 100^\circ$$

II. Che lo strumento N. 15 fatto con vetro di specie diversa ha anche differente dilatazione; e che il coefficiente di dilatazione media tra 0° e 100° risulta per questo strumento $k = 0{,}000027527$.

M. Regnault aveva trovato per questo strumento

$$k = 0{,}000027580$$

III. Che il coefficiente medio di dilatazione cubica del vetro va aumentando sensibilmente coll'aumentare della temperatura, e che, per conseguenza, quando si vogliano eseguire delle esperienze estremamente delicate, non basta conoscere il coefficiente di dilatazione tra 0° e 100°, ma conviene valersi del coefficiente di dilatazione proprio della temperatura che si considera.

Ne vedremo una prova nella ricerca del *maximum* di densità dell'acqua distillata.

IV. Lo strumento N. 1 dà eccezionalmente un valore di k più grande tra 0° e 25° che non tra 0° e 50°; forse i valori trovati sono veramente l'espressione esatta del fenomeno, e in tal caso la curva di dilatazione di questo strumento presenterebbe un flesso, ma potrebbe anche esservi errore di osservazione, tanto più che i coefficienti di

dilatazione di questo strumento coincidono con quelli degli altri per le temperature superiori.

Per evitare ogni incertezza si fece uso a preferenza degli altri strumenti.

V. La dilatazione totale cubica kt degli strumenti N. 2, N. 3, N. 4, N. 6, e conseguentemente i coefficienti k alle varie temperature possono essere rilevati dalla curva tracciata mediante i dati numerici della Tabella II, e con bastante approssimazione anche mediante l'uso della seguente formula calcolata col sussidio dei medesimi.

$$kt = at - bt^2 + ct^3$$
$$k = a - bt + ct^2$$

log. a = 5,3935752	a = 0,000024750
log. b = 9,6332847	b = 0,000000004298
log. c = $\bar{10}$,2671774	c = 0,0000000001185

PARTE II.

ESPERIENZE FATTE PER DETERMINARE LA DENSITA' DELL'ACQUA DISTILLATA IN PROSSIMITA' AL *maximum*.

Queste ricerche vennero fatte col mezzo degli strumenti N. 2, N. 3, N. 6.

Esse esigono una somma accuratezza durante l'esperienza, e molta pazienza nei calcoli numerici successivi (1). Quelli che sono abituati a siffatto genere di ricerche sapranno convenientemente apprezzarle — importa soprat-

(1) J. Pierra dice che lo stesso Regnault non potè continuare le ricerche da lui cominciate con questo strumento in causa delle lunghezze dei calcoli necessari ed ottenere il definitivo risultamento. Vedi *Annales de Chimie et de Physique* T. XV. pag. 528.

tutto di privare completamente dell'aria che contiene l'acqua distillata che si vuol sottoporre all'esperienza. A tale scopo dopo averla introdotta nello strumento si riscalda fino alla temperatura d'ebullizione, e si mantiene in questo stato per un'ora almeno, scuotendo di tanto in tanto lo strumento, affinchè le bolle d'aria aderenti alle pareti si distacchino, ed escano fuori dallo strumento.

Il diametro interno del tubo diviso essendo di circa 1 millimetro lascia un passaggio abbastanza libero alle bolle d'aria, che in principio sono molto abbondanti. Le ultime bolle però si staccano con qualche difficoltà dalle pareti dello strumento, e conviene talvolta prolungare l'operazione anche più di due ore prima di espellerle totalmente. — Qualche volta dopo aver discaccciata l'aria alcune ore prima di incominciare le esperienze, io riconduceva l'acqua alla ebullizione per accertarmi che tutta l'aria era stata espulsa.

Quando lo strumento era pieno di acqua distillata e priva d'aria la si poneva in un bagno di ghiaccio fondentesi, e ve lo si lasciava all'incirca due ore, avendo cura di rimettere del nuovo ghiaccio di mano in mano che quello si fondeva. Allorchè tutto il liquido aveva assunta la temperatura del ghiaccio, si toglieva il liquido soverchiante col mezzo di carta bibula (o con sottilissima pipetta), si faceva la lettura, ed indi la pesata colle diligenze indicate anteriormente.

Il peso dell'acqua distillata che riempie lo strumento fino alla divisione zero ed alla temperatura del ghiaccio fondentesi, serve a rappresentare il volume R_0 dello strumento.

Volendo prescindere in queste ricerche dalle precedenti determinazioni fatte col mercurio, si determina uno-

vamente la capacità d' una divisione del tubo nel seguente modo

Sia P_{100} il peso dell' acqua a zero gradi che riempie lo strumento fino alla divisione 100; e P_0 il peso dell' acqua che lo riempie fino alla divisione 0.

Sarà $\frac{P_{100}-P_0}{100}$ il peso dell' acqua che riempie una divisione; e questo peso rappresenta anche la capacità d' una divisione, qualora si convenga di prendere per unità di volume e per unità di densità il peso dell' acqua distillata alla temperatura di zero gradi, piuttosto che il peso corrispondente al *maximum*

Per lo strumento N 6 si ebbe che il peso dell' acqua distillata a 0° che lo riempie fino alla divisione zero è di 67gr,077 e che il peso dell' acqua che occupa una divisione è uguale a 0gr,00038; e quindi anche il volume dello strumento a 0° è . . . . . $R_0 = 67,077$

ed il volume d' una divisione . . . $= 0,00038$

In queste esperienze si fecero molte osservazioni comprese in un breve intervallo di temperature al di sopra ed al di sotto del *maximum*, per lo più le esperienze furono limitate tra 0° e 10°

Come s' è già notato superiormente, lo strumento si comporta allora come un termometro, ed è facile vedere il livello dell' acqua distillata abbassarsi continuamente nel tubo diviso, mentre la temperatura aumenta da 0° fino a quasi 6°, alla qual temperatura l' acqua distillata avendo già varcato il *maximum* di densità ha una dilatazione assoluta pari a quella del vetro, quindi la sua dilatazione apparente è nulla, per conseguenza il suo livello rimane alcun poco stazionario, e poscia al di sopra di 6 gradi dilatandosi più del vetro comincia il suo movimento ascendente.

— Le singole osservazioni vennero fatte a temperature stazionarie, cioè quando per alcuni minuti di seguito si manteneva invariabile tanto il livello del mercurio nei termometri quanto quello dell'acqua distillata nello strumento.

D'ordinario pescavano nel bagno due termometri a differenti profondità per poter verificare che la temperatura era uniforme, e infatti l'agitazione veniva fatta con tanta diligenza, che le indicazioni dei due termometri non appalesarono mai differenze maggiori di tre o quattro centesimi di grado. Nelle seguenti tabelle sono consegnati i dati sperimentali, col mezzo dei quali si potè calcolare la densità d_t dell'acqua distillata a differenti temperature, ponendo uguale all'unità la sua densità a zero gradi — I calcoli vennero effettuati mediante la formula (1) della pagina 15.

La tabella III contiene le esperienze eseguite collo strumento N. 6 il dì 24 giugno, la tabella IV quelle eseguite collo stesso N. 6 (vuotato e riempiuto nuovamente di acqua) il dì 4 agosto.

La tabella V contiene le esperienze istituite collo strumento N. 2 il dì 19 maggio.

Le esperienze contenute in ogni tabella non esigono meno di otto o dieci ore di tempo.

Collo strumento N. 3 vennero effettuate delle esperienze comprese tra la temperatura di 0° e quella di 11° allo scopo di determinare la temperatura del *maximum*, e la corrispondente densità dell'acqua distillata.

La tabella VI riassume queste esperienze eseguite il dì 21 gennajo 1866, ed anche quelle che vennero fatte nei successivi dì 22 e 23 gennajo collo stesso strumento allo scopo di determinare la dilatazione dell'acqua distillata a temperatura più elevate. Un accidente sopravvenuto allo

strumento impedì di spingere le esperienze al di là dei 50 gradi.

In questa tabella VI si introdussero le indicazioni dei due termometri immersi nel bagno per mostrare come infatto ad ogni esperienza la temperatura fosse uniforme. Fino alla temperatura di 22°,79 servirono i due termometri N. 269 e N. 270 e per le temperature più elevate i due N. 269 e N. 268.

Lo zero di questi termometri venne determinato prima e dopo l'esperienza e si trovò che in quell'intervallo non avea variato.

Il term.	N. 268	ha il suo zero a	80°,4
»	N. 269	»	67°,0
»	N. 270	»	377°,5

S'intende già che per le temperature elevate nelle quali, una porzione notevole di colonne mercuriali emergeva dal bagno, vennero fatte le debite riduzioni tenendo conto della temperatura dell'ambiente.

Per ogni Tabella venne costruita la relativa curva delle densità, prendendo per ascisse le temperature e per ordinate le densità. Tracciata la curva riescì facile il rilevare la temperatura del *maximum* e la corrispondente densità.

24 Giugno 1865

TABELLA III

Strumento N° 6 — Acqua distillata.

Il peso del liquido rimane invariabilmente $P = R_0 + n\frac{\pi}{D} = 67^{gr},406443$.

Termometri N 270 t	Termometri N 269 t	$1+kt$	n	$n\frac{\pi}{D}$	R_t	W_t	d_t
			D	gr	gr		
	−1,96	0,9909516	114,0	0,043290	67,074445	67,417735	0,9998345
	−1,51	0,9909924	101,5	0,039585	67,075162	67,414747	0,9908705
	−0,46	0,9999886	82,0	0,031980	67,076930	67,408000	0,9999030
	−0,12	0,9999969	75,5	0,029415	67,077500	67,406945	0,9999920
	0	1	73,7	0,028743	97,077700	67,406443	1
	0,33	1,0000080	68,0	0,026520	67,078245	67,404765	1,0000251
	1,59	1,0000392	52,0	0,020280	67,080314	67,400594	1,0000871
	2,06	1,0000509	47,2	0,018408	67,081100	67,399508	1,0000035
	2,48	1,0000612	43,0	0,016770	67,081814	67,398584	1,0001150
	2,98	1,0000735	39,0	0,015210	67,082530	67,397840	1,0001280
	3,42	1,0000846	35,9	0,013991	67,083500	67,397491	1,0001340
	3,96	1,0000978	33,0	0,012870	67,084262	67,397132	1,0001390
4°,38	4,42	1,0001092	31,0	0,012090	67,085030	67,397120	1,0001392
4,85	4,88	1,0001207	29,8	0,011622	67,085810	67,397422	1,0001350
5,26	5,26	1,0001339	28,9	0,011271	67,086014	67,397885	1,0001280
5,79	5,79	1,0001426	28,5	0,014415	67,087962	67,398377	1,0001200
6,21	6,21	1,0001533	29,0	0,014310	67,088000	67,399310	1,0001090
6,66	6,68	1,0001649	29,8	0,014622	67,088702	67,400384	1,0000910
7,41	7,10	1,0001753	30,5	0,014895	67,089402	67,401357	1,0000800
7,96	7,92	1,0001957	33,0	0,012870	67,090814	67,403684	1,0000410
8,74	8,73	1,0002455	37,0	0,014430	67,092162	67,406592	0,9999975
9,71	9,71	1,0002398	47,0	0,018330	67,093776	67,412100	0,9999100
12,09	12,03	1,0002973	78,5	0,030645	67,097646	67,428261	0,9994470

Temperatura del massimo 4°,12 — $d_t = 1,0001395$

4 Agosto 1865.

TABELLA IV

Strumento N.° 6 — Acqua distillata.

Peso del liquido contenuto $P_t = W_0 = 67^{gr},1163$

t	$1+kt$	n	$p\frac{\pi}{D}$	$R_t = R_0(1+kt)$	$W_t = R_t + n\frac{\pi}{D}$	d_t
0°	1,0000000	402,5 D	0,038950 gr	67,07735 gr	67,41630	1,0000000
0,09	1,0000022	401,0	0,038380	67,07740	67,41587	1,0000064
0,30	1,0000074	67,5	0,03705	67,07785	67,11490	1,0000210
0,45	1,0000113	64,0	0,03572	67,07810	67,11382	1,0000372
0,98	1,0000241	86,0	0,03302	67,07896	67,11088	1,0000640
1,49	1,0000368	80,3	0,03054	67,07982	67,11033	1,0000890
2,05	1,0000519	74,2	0,02820	67,08081	67,10904	1,0001085
2,60	1,0000643	69,4	0,02637	67,08166	67,10803	1,0001235
3,23	1,0000798	65,0	0,02470	67,08260	67,10739	1,0001330
3,60	1,0000888	63,0	0,02394	67,08329	67,10723	1,0001350
4,52	1,0001115	59,5	0,02261	67,08484	67,10742	1,0001327
5,36	1,0001323	57,5	0,02185	67,08621	67,10800	1,0001239
5,85	1,0001446	57,5	0,02185	67,08705	67,10890	1,0001103
6,01	1,0001485	57,0	0,02166	67,08730	67,10896	1,0001094
7,04	1,0001732	59,8	0,02273	67,08896	67,11160	1,0000687
7,48	1,0001848	61,2	0,02325	67,08973	67,11208	1,0000494
7,70	1,0001900	62,6	0,02370	67,09009	67,11388	1,0000302
8,60	1,0002124	66,3	0,02533	67,09158	67,11794	0,9990760
9,06	1,0002237	71,8	0,02728	67,09236	67,11964	0,9999502
10,16	1,0002515	81,0	0,03078	67,09424	67,12490	0,9998507
10,74	1,0002652	88,5	0,03363	67,09511	67,12874	0,9998146
11,24	1,0002769	95,8	0,03640	67,09590	67,13240	0,9997057

Temperatura del *maximum* 3°,97 — $d_T = 1,0001355$

19 Maggio

TABELLA V.

Strumento N.° 2. **Acqua distillata.**

Peso del liquido $P_t = R_0 + n\frac{\pi}{D} = 61^{gr},02512$

t	$1+kt$	n	$n\frac{\pi}{D}$	R_t	W_t	d_t
		n	gr	gr	gr	
—0°,38	0,9999906	80,0	0,03040	61,89643	61,92683	0,9999720
—0,43	0,9999968	77,0	0,02926	61,89679	61,92605	0,9999850
—0,06	0,9999985	75,2	0,02857	61,89690	61,92547	0,9999920
0	1	74,0	0,02812	61,89700	61,92512	1,0000000
0,31	1,0000075	69,0	0,02622	61,89747	61 02369	1,0000230
0,87	1,0000245	62,0	0,02350	61,89831	61,92487	1,0000520
1,13	1,0000278	59,3	0,02253	61,89870	61,92123	1,0000630
1,53	1,0000402	54,4	0,02029	61,89949	61,91978	1,0000860
2,00	1,0000494	49,8	0,01892	61,90040	61,91002	1,0000987
2,49	1,0000541	48,3	0,01835	61,90034	61,91869	1,0001037
3,13	1,0000773	41,3	0,01569	61,90174	61,91740	1,0001245
4,00	1,0000988	35,9	0 01402	61,90310	61,91712	1,0001292
4,26	1,0001051	35,0	0,01364	61,90350	61,91714	1,0001289
4,61	1,0001114	35,0	0,01330	61,90387	61,91717	1,0001284
4,54	1,0001145	34,0	0,01315	61,90409	61,91724	1,0001270
4,76	1,0001176	34,3	0,01304	61,90427	61,91731	1,0001260
4,89	1,0001208	34,0	0,01292	61,90444	61,91730	1,0001252
5,01	1,0001237	33,8	0 01284	61,90464	61,91748	1,0001232
5,14	1,0001269	33,0	0,01277	61,90464	61,91761	1,0001210
5,26	1,0001299	33,4	0,01259	61,90504	61,01773	1,0001190
5,39	1,0001331	33,1	0,01258	61,90524	61,91782	1,0001176
5,51	1,0001361	33,0	0,01254	61,90543	61,91707	1,0001150
5,64	1,0001393	33,0	0,01254	61,90564	61,91815	1,0001123

Cont. della Tabella V.

t	$1+kt$	n	n^{7}_{D}	R_t	W_t	d_t
5,76	1,0001423	33,0	0,01254	61,90580	61,91834	1,0001095
6,89	1,0001455	33,0	0,01251	61,90601	61,91855	1,0001059
6,01	1,0001485	33,0	0,01254	61,90620	61,91874	1,0001030
6,14	1,0001517	33,05	0,01256	61,90640	61,91896	1,0000996
6,26	1,0001547	33,15	0,01260	61,90657	61,91917	1,0000960
6,39	1,0001579	33,3	0,01266	61,90676	61,91942	1,0000920
6,51	1,0001609	33,6	0,01277	61,90604	61,91971	1,0000870
6,64	1,0001641	33,9	0,01288	61,90714	61,92002	1,0000825
6,76	1,0001671	34,2	0,01300	61,90733	61,92033	1,0000776
6,89	1,0001703	34,5	0,01312	61,90751	61,92063	1,0000720
7,01	1,0001732	34,8	0,01325	61,90770	61,92095	1,0000670
7,14	1,0001761	35,1	0,01334	61,90790	61,92126	1,0000624
7,20	1,0001794	35,5	0,01349	61,90810	61,92159	1,0000570
7,32	1,0001806	35,9	0,01364	61,90849	61,92183	1,0000530
7,39	1,0001826	36,0	0,01368	61,90630	61,02196	1,0000500

Temperatura del *maximum* $t=4^{\circ},10$ $d_t=1,0001366$

24, 22, 23 Gennajo 1866

T A B E L

Strumento N.° 3.

Termometro N.° 269	t	Termometro N.° 270	t'	1+kt	n
69,0	0°	377,5	0°	1	102,0
69,0	0,25	382,0	0,24	1,0000060	90,0
72,8	0,73	390,4	0,66	1,0000168	92,0
80,5	1,69	408,7	1,65	1,0000407	80,5
84,6	2,20	418,5	2,17	1,0000536	75,0
90,0	2,88	431,0	2,83	1,0000698	69,0
94,4	3,43	442,0	3,41	1,0000841	65,1
99,1	4,01	453,0	3,99	1,0000986	61,8
101,4	4,31	459,0	4,30	1,0001064	60,5
104,6	4,71	466,2	4,68	1,0001157	59,0
100,1	4,90	470,0	4,89	1,0001200	58,3
—	—	476,5	5,26	1,0001291	68,0
111,6	5,58	482,9	5,57	1,0001376	57,8
118,4	6,43	400,0	6,42	1,0001585	67,9
120,0	6,64	503,4	6,63	1,0001676	68,0
124,6	7,22	514,0	7,21	1,0001780	59,8
127,8	7,61	521,6	7,60	1,0001878	62,3
132,6	8,21	533,0	8,21	1,0002028	65,0
136,4	8,69	542,0	8,69	1,0002146	68,7

Digitized by Google

L A VI.

Acqua distillata.

n_D^{π}	R_t	W_t	P_t	d_t
0,039100	gr 66,959400	gr 66,996500	gr 66,9986	1
0,037917	66,969610	06,997532	»	1,0000144
0,035296	66,960530	66,995760	»	1,0000407
0,030631	66,962130	66,992901	»	1,0000829
0,026725	66,962976	66,991701	»	1,0001016
0,026427	66,964076	60,990503	»	1,0001195
0,024933	66,965030	66,969645	»	1,0001270
0,023669	66,965970	66,989095	»	1,0001321
0,023172	66,966510	66,989667	»	1,0001320
0,022597	66,967146	66,989743	»	1,0001306
0,022320	66,967491	66,969820	»	1,0001297
0,022214	06,908061	66,990275	»	1,0001229
0,022137	66,966015	06,990752	»	1,0001155
0,022176	60,070015	66,992491	»	1,0000942
0,022214	60,970610	66,992629	»	1,0000840
0,022903	66,971315	66,994218	»	1,0006640
0,023601	66,974961	66,990622	»	1,0000400
0,024605	66,972901	66,997650	»	1,0000097
0,020342	66,973761	67,000073	»	0,9999765

Cont. della Tabella VI.

Termometro N.° 269	t	Termometro N.° 270	t'	$1+kt$	n
140°,4	9°,19	554°,5	9°,10	1,0002270	72,0
143,0	9,54	557,8	9,52	1,0002350	75,3
146,2	9,89	565,0	9,90	1,0002444	79,4
150,0	10,39	574,0	10,38	1,0002567	83,4
154,1	10,90	584,0	10,90	1,0002694	91,0
157,2	11,29	591,0	11,27	1,0002789	95,6
160,4	11,60	599,0	11,69	1,0002888	101,0
166,8	12,49	613,0	12,46	1,0003086	102,4
201,0	16,77	694,6	16,76	1,0004144	101,0
249,0	22,79	806,6	22,79	1,0005638	102,2
Termom. N. 269	Immerso fino 250°,0	Termom. N.° 266	Immerso fino 300°,0	Temperat. dell ambiente	
279°,2	26°,51	299°,0	26°,52	1,0006565	102,0
316,0	31,13	339,1	31,40	1,0007797	100,0
352,8	35,82	375,1	35,63	1,0008903	102,2
394,0	41,01	416,2	41,04	1,0010451	102,2
434,5	45,75	457,0	45,76	1,0011127	100,5
474,8	51,16	501,3	51,19	1,0012623	101,0

Temperatura del *maximum* — 4°,10

Digitized by Google

n_D^T	R_t	W_t	P_t	d_t
0,027576	66,974600 gr.	67,002176 gr.	66,9985 gr.	0,9999450
0,028840	66,975153	67,003970	»	0,9999165
0,030410	66,975766	67,006174	»	0,9996655
0,031942	66,976600	67,008542	»	0,9996497
0,034653	66,977445	67,012296	»	0,9997940
0,035649	66,976076	67,013925	»	0,9997605
0,036683	66,976730	67,017413	66,9965	0,9997177
0,039259	66,961061	67,020320	66,9952	0,9996252
0,036663	66,986160	67,026813	66,9604	0,9990089
0,039143	66,998130	67,067273	66,8891	0,9977395
=+46°C.				
0,039066	67,004346	67,043412	66,6326	0,9986557
0,038300	67,042600	67,059900	66,7461	0,9954339
0,039443	67,020000	67,059443	66,6598	0,9940447
0,039143	67,030361	67,069504	66,5406	0,9921443
0,036494	67,036900	67,075394	66,4488	0,9902412
0,038683	37,046246	67,084929	66 2694	0,9878434

$d_t = 1,0001325$

Dall' ispezione dei dati numerici contenuti nelle precedenti Tabelle risulta evidentemente che sarebbe vano il cercare di esprimere la densità dell' acqua con sette cifre decimali mentre esperienze eseguite con uno stesso stromento diedero risultati che differiscono già sulla sesta cifra.

Così lo strumento N. 6 diede una volta per la temperatura del *maximum* . . . . . $=4^{\circ},12$

La densità . . . . . $=1,0001395$

prendendo per unità la densità a zero

Ma altra volta diede $T=3,97$ $d_T=1,0001355$

Lo strumento N. 2 diede

$T=4^{\circ},10$ $d_T=1,0001300$

e lo strumento N. 3

$T=4^{\circ},10$ $d_T=1,0001325$

Conviene però notare che ad ogni nuova esperienza il liquido veniva rinnovato e bollito: laonde è da ritenersi che quei dati numerici rappresentino le effettive densità dell' acqua distillata, densità che possono variare entro quei limiti secondo si riesce a privarla più o meno completamente di aria

Laonde può dirsi che la densità massima dell' acqua distillata è compresa tra 1,0001300 ed 1,0001395.

A questi stessi risultamenti pervenne il Despretz

Infatti come media di due esperienze egli ebbe il valore di 1,0001300, e quale media di altre due 1,0001402 — Prendendo la media delle quattro esperienze da me eseguite, risulterebbe che il *maximum* ha luogo alla temperatura . . . . . $T=4^{\circ},07$

e che la densità . . . . . $d_T=1,0001340$.

Il Despretz da un numero molto maggiore di esperienze ha desunto

$$T = 4^{\circ},00 \qquad d_{T} = 1,0001360\,,$$

benchè calcolandole nuovamente sembri risultarne

$$T = 4^{\circ},005 \qquad d_{T} = 1,0001350 \quad (1)$$

(1) Nella stampa della Memoria di Despretz (*Annales de Chimie et de Physique*, Tomo LXX, pag. 24) è scorso un errore tipografico, che non credo sia stato avvertito, e che ha fatto attribuire al rapporto tra il volume dell'acqua a 0° e quello del *maximum* un valore naturalmente minore di quello che risulta dalle esperienze. Vi si legge infatto che alla temperatura $t = 0°$ $v = 1,0001269$ $d = 0,999862$ posto che alla temperatura del *maximum* $v = 1$ $d = 1$

Si deve leggere invece $t = 0$ $v = 1,0001369$ $d = 0,999862$

Il signor P. A. Dagnin accortosi che i due valori di v e d non andavano bene d'accordo, ne modificò uno, e ritenendo esatto il valore di v registrò erroneamente nella tabella inserita a pag. 205 del II Volume del suo riputato Trattato di Fisica i valori

$$t = 0 \quad v = 1,0001269 \quad d = 0,999873.$$

Che sia incorsa effettivamente lo sbaglio annunciato apparisce dalla seguente analisi dei dati sperimentali del Despretz.

Despretz pone $v = 1$ alla temperatura del *maximum* T e trova

Medio di 7 esperienze		$T = 3^{\circ},99$	$v = 1,0001328$	per	$t = -0,01$
»	7	»	$T = 4^{\circ},02$	$v = 1,0001357$	$t = +0,05$
»	2	»	$T = 4^{\circ},01$	$v = 1,0001500$	$t = +0,01$
»	2	»	$T = 3^{\circ},98$	$v = 1,0001402$	$t = +0,04$

Medie di 18 esperienze $T = 4^{\circ}\,0006$ $v = 1,0001336$ $t = 0^{\circ},02$

Tenendo conto dell'andamento della curva risulterebbe che nel passaggio da $t = 0^{\circ},02$ a $t = 0^{\circ}$ il volume si ammetterebbe di 0,0000014.

Laonde per $t = 0$ $v = 1,0001350$ e $d = 0,999865$
assai prossimi a $v = 1,0001369$ $d = 0,999862$

quali debbonsi intendere stampati nella Memoria del Despretz.

Egli è poi evidente che se si pone

$v = 1$ $d = 1$ per $t = 0$ sarà
$v = 0,999862$ $d = 1,0001369$ alla temperatura del *maximum*
oppure $v = 0,999865$ $d = 1,0001350$

e sono questi i valori citati a pag. 10

Sia l'uno come l'altro di questi valori differiscono assai poco da quello che risulta dalle mie proprie esperienze, invece differiscono notevolmente dai valori 1,0001232 trovata da H. Kopp, ed 1,0001192 dato da I. Pierre — La causa di questa differenza vuol essere riposta, come accennai in principio, nello aver questi due esperimentatori fatto uso nei loro calcoli del coefficiente medio di dilatazione del vetro tra 0° e 100°; mentre io determinai, come fece il Despretz, il coefficiente medio di dilatazione tra 0° e 25° — In prova di ciò basterà osservare che il valore di d_t corrispondente a $t=4°,01$, nella Tabella VI riesce uguale a 1,0001323, perchè si fece uso del coefficiente medio tra zero e 25° cioè $k=0,00002475$;
mentre se si pone invece . . . $k=0,00002617$
medio tra 0° e 100, risulta $d_T=1,0001211$
valore intermedio tra quello del Kopp e quello del Pierre.

Si può quindi ritenere che posta uguale ad uno la densità dell'acqua alla temperatura di zero, la sua densità alla temperatura del *maximum* sia molto prossimamente uguale a 1,000135 valore dato dal Despretz, oppure 1,000134 che risulta dalle mie esperienze

Dopo aver tracciate le quattro curve relative alle esperienze contenute nelle precedenti Tabelle, venne delineata una nuova curva rappresentante la media generale, e da essa vennero desunti i valori consegnati nella seguente Tabella VII.

Questa Tabella contiene nella colonna segnata d_t la densità dell'acqua da 0° fino a 8° posta uguale ad uno la densità che essa possiede a 0°. Nella colonna D_t sono segnati i valori di queste densità posta uguale ad uno la densità alla temperatura del *maximum*

TABELLA VII

contenente i valori della densità e del volume dell'acqua distillata da 0° fino a 50°.

d_t = densità a t^0 posto $d_0 = 1$ D_t = densità a t^0 posto $D_{4^\circ,107} = 1$
v_t = volume a t^0 posto $v_0 = 1$ V_t = volume a t^0 posto $V_{4^\circ,107} = 1$

t	d_t	v_t	D_t	V_t
0°	1,0000000	1,0000000	0,9998660	1,0001340
0,5	1,0000334	1,0000099	0,9998990	1,0001010
1	1,0000608	0,9999392	0,9999267	1,0000733
1,5	1,0000822	0,0000178	0,9999482	1,0000518
2	1,0000910	0,9998090	0,9999669	1,0000331
2,5	1,0001153	0,9998847	0,9999814	1,0000186
3	1,0001258	0,9998742	0,9999917	1,0000083
3,5	1,0001315	0,9998685	0,9999973	1,0000027
4	1,0001338	0,9998662	0,9999998	1,0000002
4,07	1,0001340	0,9998660	1,0000000	1,0000000
4,5	1,0001325	0,0008675	0,9999982	1,0000018
5	1,0001280	0,9998720	0,9999939	1,0000001
5,5	1,0001190	0,9998810	0,9999850	1,0000150
6	1,0001070	0,9998930	0,9999727	1,0000273
6,5	1,0000916	0,9999084	0,9999572	1,0000428
7	1,0000720	0,9999279	0,9999380	1,0000620
7,5	1,0000492	0,9999508	0,9999150	1,0000850
8	1,0000248	0,9999754	0,9998910	1,0001090
8,40	1,0000000	1,0000000	0,9998600	1,0001340
9°	0,99996	1,00004	0,99982	1,00018
10	0,99988	1,00012	0,99975	1,00025
11	0,99978	1,00022	0,99965	1,00035
12	0,99968	1,00032	0,99955	1,00045
13	0,99956	1,00044	0,99944	1,00056
14	0,99943	1,00057	0,99930	1,00070
15	0,99929	1,00071	0,99919	1,00084
16	0,99913	1,00087	0,99901	1,00099
17	0,99897	1,00103	0,99884	1,00116

Cont. della Tabella VII

t	d_t	v_t	D_t	V_t
18°	0,99879	1,00124	0,99866	1,00135
19	0,99869	1,00141	0,99847	1,00155
20	0,99839	1,00194	0,99828	1,00175
21	0,99819	1,00182	0,99805	1,00197
22	0,99797	1,00204	0,99782	1,00220
23	0,99774	1,00227	0,99759	1,00242
24	0,99751	1,00250	0,99735	1,00266
25	0,99726	1,00275	0,99714	1,00290
26	0,99699	1,00302	0,99686	1,00315
27	0,99673	1,00329	0,99659	1,00342
28	0,99645	1,00356	0,99632	1,00370
29	0,99617	1,00384	0,99604	1,00300
30	0,99588	1,00413	0,99575	1,00428
31	0,99558	1,00444	0,99545	1,00457
32	0,99528	1,00474	0,99515	1,00487
33	0,99497	1,00505	0,99485	1,00519
34	0,99465	1,00538	0,99453	1,00554
35	0,99422	1,00581	0,99420	1,00584
36	0,00398	1,00600	0,00385	1,00619
37	0,99362	1,00642	0,99350	1,00655
38	0,99326	1,00670	0,99314	1,00694
39	0,99287	1,00717	0,99276	1,00732
40	0,99250	1,00755	0,99238	1,00770
41	0,99212	1,00794	0,99190	1,00808
42	0,99173	1,00834	0,99160	1,00848
43	0,99134	1,00873	0,99121	1,00888
44	0,99094	1,00914	0,99081	1,00929
45	0,99052	1,00950	0,99040	1,00971
46	0,99011	1,00999	0,99000	1,01013
47	0,98969	1,01043	0,98960	1,01056
48	0,98927	1,01088	0,98949	1,01102
49	0,98884	1,01134	0,98877	1,01148
50	0,98843	1,01181	0,98835	1,01104

Le colonne segnate v_t e V_t contengono i valori dei corrispondenti volumi.

Tutti questi valori d_t v_t, D_t V_t sono espressi con sette cifre decimali da 0° fino a 8°. A partire da 9° fino al grado 50°, che è l'ultimo compreso nella Tabella, quei valori sono espressi con sole cinque cifre decimali, e sono stati desunti dalla curva costruita coi dati numerici contenuti nella Tabella VI. — Avremmo potuto esprimere questi valori anche con sei decimali, ma la sesta cifra sarebbe riuscita dubbia, e perciò abbiamo preferito di ritenere solo cinque cifre, che crediamo potersi riguardare esatte, e che sono più che bastanti pei bisogni pratici.

Conclusioni

Dal complesso di queste ricerche risulta:

1.° Che la temperatura del *maximum* di densità dell'acqua distillata è di 4°,07, valore alquanto maggiore di 4°,00 dato dal Despretz ed assai prossimo a 4°,08 dato da H. Kopp.

Con ciò non intendo di porre in dubbio l'esattezza delle esperienze assai concordanti del Despretz; la piccola differenza potrebbe forse dipendere dai termometri. Del resto, la densità dell'acqua alle due temperature 4°,00 e 4°,07 è così poco differente, che si può, senza sensibile errore, ritenere quale *maximum* la densità a 4°,00.

2.° Posti eguali all'unità il volume e la densità dell'acqua alla temperatura del *maximum*, alla temperatura di zero si ha

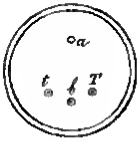
$V_0 = 1,000134$ $D_0 = 0,999866$ assai prossimi a
$V_0 = 1,000136$ $D_0 = 0,999862$ valori dati dal Despretz e notevolmente diversi da

$V_0 = 1,000119$ $D_0 = 0,999884$ dati da J. Pierre
e $V_0 = 1,000123$ $D_0 = 0,999877$ che risultano dalle formole del Kopp.

Abbiamo già veduto per qual motivo i valori trovati da J. Pierre e da H. Kopp differiscono sensibilmente da quelli del Despretz e dai miei, e perchè questi debbano essere preferiti.

3.° La curva di dilatazione non è simmetrica al di qua e al di là del *maximum*. Anche il Despretz avea fatto questa osservazione, e alla stessa conseguenza si pervenne mediante le formole del Kopp. Da questa risulta che alla temperatura di 8°,24 l'acqua possiede la stessa densità che ha alla temperatura di zero gradi. A me invece risulta che l'acqua ha la stessa densità a $t = 8°,46$ ed a $t = 0$.

SS 34 1362



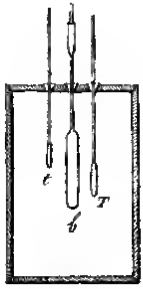


Fig 2

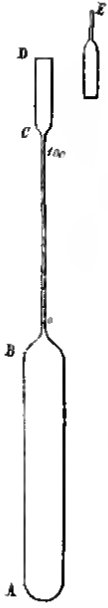


Fig 1

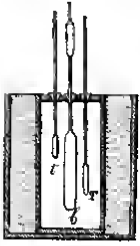


Fig 3

pr lit M Fontana

Digitized by Google